

A KÁRPÁT-MEDENCE DOMBORZATÁNAK CSAPADÉKVÁLTOZÁSBAN BETÖLTÖTT SZEREPÉNEK VIZSGÁLATA REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEK SEGÍTSÉGÉVEL

Torma Csaba Zsolt^(1,2) 

⁽¹⁾Eötvös Loránd Tudományegyetem, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

⁽²⁾Magyar Tudományos Akadémia

e-mail: tcsabi@caesar.elte.hu

Bevezetés

Az éghajlati modellek fontos szerepet töltenek be a jövőbeli antropogén kényszerek várható éghajlati hatásainak vizsgálatában. Napjainkban a globális klímakutatás elsődleges eszközei a globális klímamodellek (GCM), melyek leggyakrabban használt horizontális térbeli felbontása: 100–300 km. Azonban a globális klímamodellek lehetőségei a relatív durva felbontásukból adódóan regionális szinten igen korlátozottak (szub-kontinentális szinten) tekinthető. A GCM eredményekben az éghajlati változók leírása igen sok bizonytalansággal terhelt, kiváltképp a csapadék vonatkozásában¹. A numerikus előrejelző körökben jól ismert beágyazásos módszer² során a globális modellbe illesztett (befészkel, beágyazott) korlátos tartományú modell végzi el a globális klímamodell eredményeinek regionális szintre való leiskálázását. Az első sikeres, beágyazáson alapuló regionális klímamodell (RCM) kísérletet az Amerikai Egyesült Államok nyugati partjára, 60 km-es rácsfelbontás mellett végezték el (Dickinson et al., 1989). Az elmúlt évtizedekben esettanulmányoktól kezdve paleoklimatológiai vizsgálatokon át, a jövőre vonatkozó klimatológiai kutatásokig, valamint évszakos előrejelzésekig egyaránt alkalmaztak RCM-eket. Azonban a regionális klíma előrejelzésekben egyaránt meglévő bizonytalanságok vizsgálata ezen előrejelzések csoportos kiértékelését³ követelik meg (Beniston et al., 2007). Az elmúlt közel két évtized során Európa térségére több olyan nemzetközi program látott napvilágot, melyek során a regionális klímaváltozás vizsgálata RCM szimulációk segítségével történt: PRUDENCE (*Predicting of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects*, 2001–2004; Christensen & Christensen, 2007); ENSEMBLES (*Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts*, 2004–2009; Hewit & Griggs, 2004); CECILIA (2006–2009; Halenka, 2007). Az egyik legújabb nemzetközi kezdeményezés során (*Coordinated Regional climate Downscaling Experiment*, CORDEX; Giorgi et al., 2009), a Föld minden kontinensére rendelkezésre állnak RCM szimulációk (többnyire az 1950–2100 időszakra vonatkozóan). A CORDEX keretén belül az EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014) és Med-CORDEX (Ruti et al., 2015) nemzetközi programoknak köszönhetőn példa nélküli mértékben hozzáférhetők 50 km és 12 km felbontás mellett klímaszimulációk a Kárpát-medencét teljes területében magában foglaló európai régióra. Ezen szimulációk szolgáltatják az alapját a Kárpát-medence térségére végzett kutatásaimnak.

A kutatás alapgondolata

A 2012–2016 közötti időszakban a Med-CORDEX programhoz kapcsolódóan a mediterrán térségre számos tranziens klímaszimulációt hajtottam végre 50 km, illetve 12 km horizontális

¹ A csapadék a hőmérséklethez viszonyítva sokkal nagyobb térbeli és időbeli változékonyságot mutat.

² Nesting

³ Ensembles technika.

rácsfelbontás mellett (Torma & Giorgi, 2014; Giorgi et al., 2014; Coppola et al., 2014; Torma et al., 2015; Ruti et al., 2015; Liu et al., 2015; Giorgi et al., 2016; Fantini et al., 2016; Drobinski et al., 2016). Ezen tanulmányok jelentős részében az Alpok térsége megkülönböztetett figyelmet kapott. Ennek legfőbb okai: az Alpok komplex domborzata a regionális éghajlat alakításában kitüntetett szereppel bír, valamint rendelkezésre áll finom felbontású (5 km), kiváló minőségű, megfigyeléseken alapuló csapadék adatbázis (EURO4M-APGD, Isotta et al., 2014), mely a modellek teljesítményének részletes kiértékeléséhez kiváló alapot szolgáltat az Alpok és közvetlen környezetében. Egyik legutóbbi munkánkban (Torma et al., 2015) ezen hegyvidéki területre példák során (átlagos csapadék térbeli eloszlás, napi csapadékintenzitás eloszlás, csapadék extrémum vizsgálat) a térbeli felbontásból származó előnyöket mutattuk be. A csapadék eredményekben egyértelmű javulás mutatkozott a finom felbontású RCM-ek (~12 km) esetében mind a közepes felbontású RCM-ek (~50 km), mind pedig a durva felbontású GCM-ek eredményeivel összevetve. Eredményeink továbbá arra is rávilágítottak, hogy a leskálázás során az RCM-ek a GCM-ek által előrejelzett csapadékváltozást⁴ is nagymértékben módosították, különösképp a magasan fekvő területeken (2000 m felett). Ugyanis míg a vizsgált finom felbontású RCM-ek döntő többsége a nyári csapadékmennyiség növekedését jelezte az évszázad végére, addig a GCM-ek ennek ellenkezőjét mutatták. Következő munkánkban (Giorgi et al., 2016) ennek okait kutattuk 4 GCM valamint 6 RCM⁵ eredményeinek feldolgozásával. Abban az esetben, amikor a csapadékot konvektív és nem-konvektív részenként vizsgáltuk, a 2000 m feletti területeken a konvektív csapadék erős, szignifikáns megnövekedését találtuk, melyre a megnövekedett potenciális instabilitás⁶ adott választ, ami a felszíni felmelegedés és a helyben kihullott csapadék körforgásának a következménye is egyben.

A Kárpát-medence, illetve a Kárpátok térsége klímaváltozási vizsgálatok vonatkozásában sokkal kisebb figyelmet kapott eddig klímakutatói körökben, mint az Alpok és közvetlen környezete. Az Alpok térségéhez hasonlóan a Kárpátok komplex domborzatú terület (2000 m magasságot meghaladó hegycsúcsokkal), mely befolyással van a térség éghajlatára, valamint a modellek kiértékeléséhez szintén rendelkezésre áll finom felbontású (~10 km), jó minőségű, megfigyeléseken alapuló napi csapadékösszegeket is magában foglaló adatbázis (CARPATCLIM, Szalai et al., 2013). Ugyanakkor a térség országai számára számos mezőgazdasági, gazdasági ágazat vonatkozásában a Kárpát-medence kiemelt fontossággal bír. Példának okáért Magyarország legfőbb folyóinak egyike, a Tisza forrása⁷ a Kárpátokban található. Ezen tény egyben rávilágít annak fontosságára, hogy a térségünkben várható klímaváltozásról való ismereteink minél pontosabb, teljes legyen, különösképp a csapadékváltozás vonatkozásában. Mindezen tényezők igen erőteljes indítékát adják az Alpok térségére elvégzett vizsgálatok Kárpát-medencére történő adaptálására, kiterjesztésére.

Várható csapadékváltozás a Kárpát-medence térségében

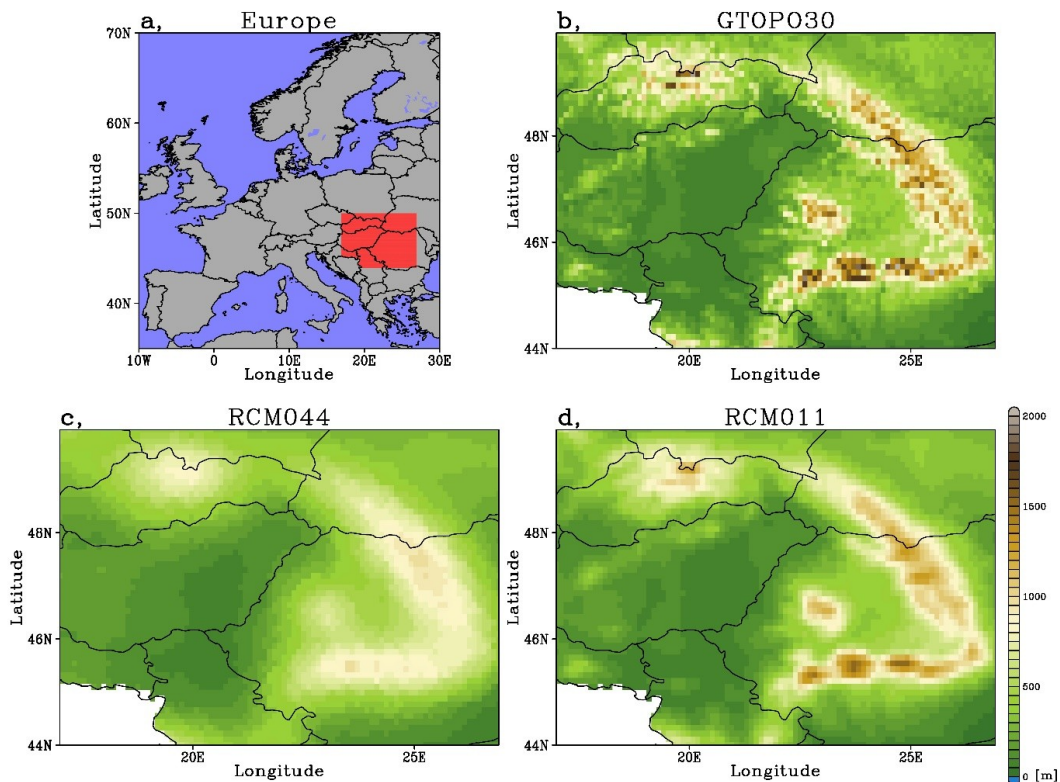
A Kárpát-medence térségére jó minőségű, finom felbontású, homogenizált napi csapadékösszegek állnak rendelkezésre a CARPATCLIM adatbázis részeként (Szalai et al., 2013) az 1961–2010 közötti időszakra vonatkozóan. A CARPATCLIM adatbázis által körülhatárolt régió adja továbbá a vizsgálataim céltartományát (*1. ábra*).

⁴ 2070-2099 időszak átlagát a referencia időszaknak tekintett 1976-2005 közötti átlagértékkel összevetve.

⁵ EURO-CORDEX és Med-CORDEX szimulációk.

⁶ Potenciális Instabilitási, vagy PI index, mely az ekvivalens potenciális hőmérséklet 500 hPa és 850 hPa nyomási szintek közötti különbségéből származtatott: $\theta_{500} - \theta_{850}$

⁷ Továbbá például a teljesség igénye nélkül a Maros, Szamos, Kraszna és a Kőrösök.



1. ábra: A vizsgálatok céltartománya, mely megegyezik a CARPATCLIM adatbázis által lefedett területtel. A kutatási terület elhelyezkedése Európán belül (a panelen piros színnel jelölve). A CARPATCLIM adatbázis által körülírt tartomány $0,11^\circ$ horizontális rácshálózatra interpolált domborzati térképei különböző adatbázisok alapján:

GTOPO30 (b panel; eredeti felbontás: $30''$),
RCM044 (c panel; $0,44^\circ$ felbontású RCM-ek átlaga),
RCM011 (d panel; $0,11^\circ$ felbontású RCM-ek átlaga).

Az egyes térbeli felbontásokból adódó magasságbeli különbségek jól érzékelhetők a közepes felbontású RCM-ek (~ 50 km, RCM044), valamint a finom felbontású RCM-ek (~ 10 km, RCM011) átlagos tengerszintfeletti magasságainak összevetése során (1. ábra). Hegyvidéki környezetben az egyes modellek domborzatában több száz méteres tengerszintfeletti magasságbeli eltérések is megfigyelhetők.

A kutatás megkezdésekor az EURO- és Med-CORDEX keretében napi csapadékösszegek az RCP8.5⁸ forgatókönyvet követve 8 RCM-re álltak rendelkezésre mindkét, korábban említett rácsfelbontás mellett. Az 1. táblázat foglalja össze a jelen munkához felhasznált GCM/RCM párosokat.

Az RCM-ek által szolgáltatott csapadék adatokat három, egyenként 30 éves időszetre vizsgáltam meg: 1976–2005 (referencia időszak), 2021–2050 (közeljövő) és 2070–2099 (távoli jövő). Az eredményeket korábbi munkámat követve (Torma et al., 2015) a Climate Data Operators⁹ „distance-weighted”¹⁰ eljárását alkalmazva $0,11^\circ$ -os rácshálózatra képeztem. Az így kapott csapadékmezőkből származtattam a várható csapadékváltozásokat leíró mezőket. Az RCM ensembles-ek térbeli felbontásuktól függetlenül a várható csapadékváltozás mértékében és térbeli eloszlásában nagymértékű hasonlóságot mutatnak (2. ábra).

⁸ Representative Concentration Pathway 8.5, azaz olyan Koncentrációváltozás Reprezentatív Pálya, mely igen magas üvegházhatású gáz kibocsátást leíró forgatókönyvet jelent.

⁹ CDO, <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/>

¹⁰ Távolsággal arányosan súlyozott.

1. táblázat: A kutatáshoz felhasznált modellek.

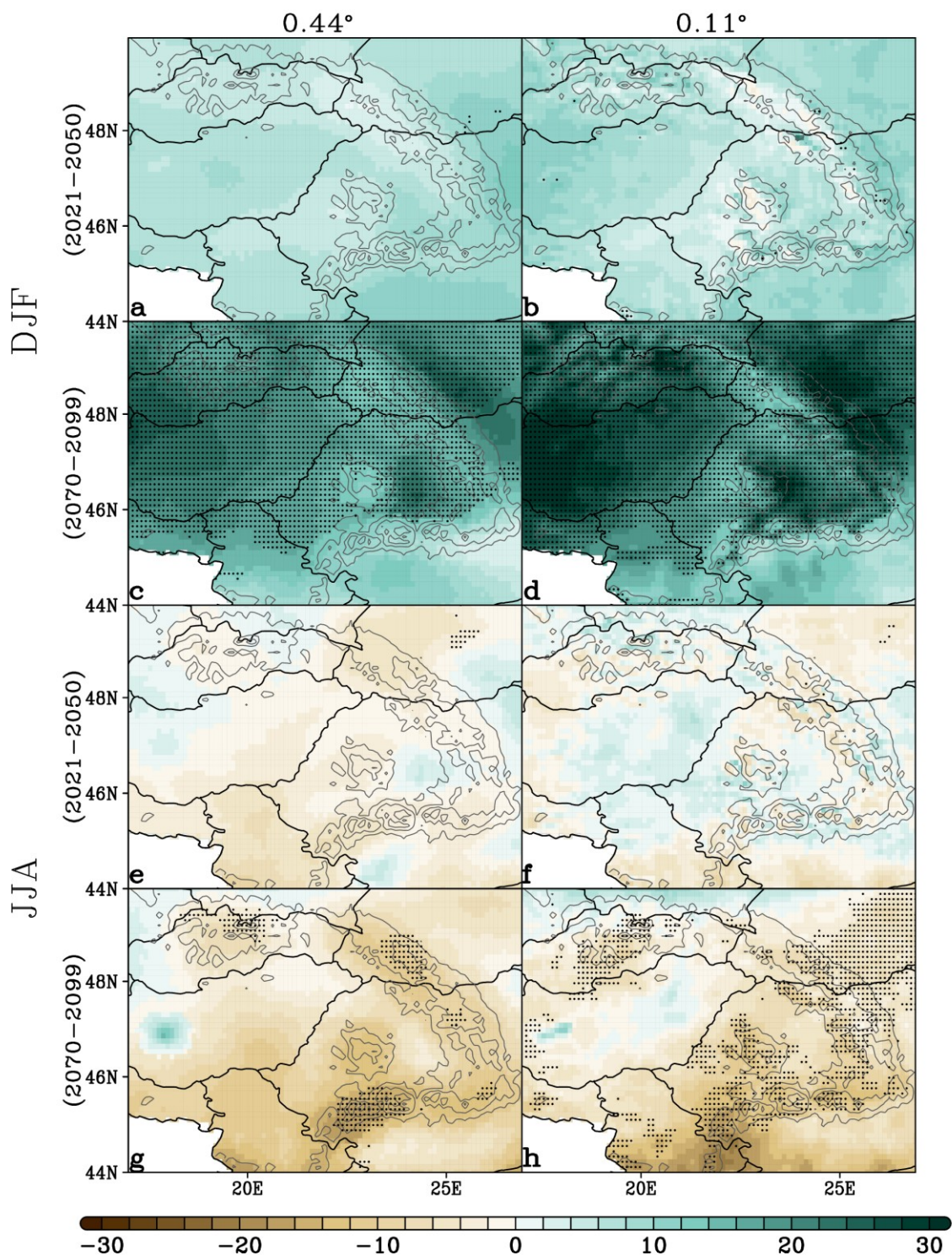
Csillaggal jelölt modellek a Med-CORDEX keretében állnak rendelkezésre, betűvel listázottak a meghajtó mezőket szolgáltató globális klímamodellek.¹¹

Modell	Intézmény	Horizontális felbontás
a, CNRM-CM5 (Voldoire et al., 2013)	Centre National de Recherches Météorologiques and Centre Européen de Recherches et de Formation Avancée en Calcul Scientifique, France	1,40625° × 1,40625°
b, EC-EARTH (Hazeleger et al., 2010)	Irish Centre for High-End Computing, Ireland	1,125° × 1,125°
c, HadGEM2-ES (Collins et al., 2011)	Met Office Hadley Centre, UK	1,875° × 1,2413°
d, MPI-ESM-LR (Jungclaus et al., 2010)	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	1,875° × 1,875°
e, IPSL-CM5A-MR (Dufresne et al., 2013)	Institut Pierre Simon Laplace	1,25° × 2,5°
ALADIN (a-MC) (Colin et al., 2010)	Centre National de Recherches Météorologiques, France	0,11° és 0,44°
CCLM (d-EC) (Rockel et al., 2008)	Climate Limited-area Modelling Community, Germany	0,11° és 0,44°
HIRHAM (b-EC) (Christensen et al. 1998)	Danish Meteorological Institute	0,11° és 0,44°
RCA4 (c-EC) (Kupianen et al., 2011)	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rossby Centre, Sweden	0,11° és 0,44°
RACMO (b-EC) (Meijgaard van et al., 2012)	Royal Netherlands Meteorological Institute, The Netherlands	0,11° és 0,44°
REMO (d-EC) (Jacob et al., 2001)	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Germany	0,11° és 0,44°
RegCM4 (c-MC) (Giorgi et al., 2012)	International Centre for Theoretical Physics, Italy	0,11° és 0,44°
WRF331F (e-EC) (Skamarock et al., 2008)	IPSL (Institut Pierre Simon Laplace) and INERIS (Institut National de l'Environnement industriel et des RISques)	0,11° és 0,44°

A téli évszakra jellemző módon a modellek több csapadékot jeleznek mindkét jövőbeli időszakra vonatkozóan (2. ábra a–d). Azonban míg a közeljövőre többnyire bizonytalan nem csak a változás mértéke, hanem annak iránya is (2. ábra a–b), addig a 2070–2099 időszakra igen egyértelmű, jelentős mértékű (akár 30%-ot meghaladó) csapadéktöbbletet jeleznek a felhasznált modellek majdnem a teljes Kárpát-medence térségére (2. ábra c–d). A nyári évszakra a téli évszakkal ellentétben, kisebb mértékű, ugyanakkor nagyobb térbeli változékonyságot mutató változásokat vetítenek előre a modellek (2. ábra e–h). Az alföldi területekre a vizsgált finom felbontású modellek kismértékű, nem szignifikáns csapadéknövekedést (0–15%-os) jeleznek (2. ábra f–h). Érdeemes megfigyelni azonban, hogy az évszázad végére főként a Kár-

¹¹ A regionális klímamodellek után zárójelben a GCM-nek megfelelő betű, illetve arra vonatkozó információ áll, hogy az adott RCM mely program keretében áll rendelkezésre (EC: EURO-CORDEX, MC: Med-CORDEX).

pátok vonulatai és azok közvetlen környezetében lehet számítani nagyobb bizonyossággal 10–20%-os csapadékhiányra (2. ábra h). A nyári csapadékváltozás térbeli eloszlása orografikus eredetre utal, melynek részletesebb vizsgálata további munkát igényel.



2. ábra: Várható csapadékváltozás a 2021–2050 és 2070–2099 időszakokra (referencia időszak: 1976–2005) nyár (JJA) és tél (DJF) évszakokra. Pontokkal kiemelt területek azon régiókat jelölik, ahol a modellek többsége (8 modell közül legalább 5) szignifikáns (kétmintás t-próba, $p = 0,1$) változást jeleznek. Az eredmények %-ban vannak feltüntetve.

Köszönetnyilvánítás

A kutatásokat az MTA Prémium Posztdoktori ösztöndíj támogatja. Köszönet illeti továbbá az EURO-CORDEX és Med-CORDEX modellező csoportokat, a CARPATCLIM, Database © European Commission – JRC 2013 csapatát, valamint a U.S. Geological Survey-t, hogy a GTOPO30 adatbázisaikat közzétették. Jelen munkában felhasznált adatok többek között a következő honlapokon keresztül érhetők el, tölthetők le: <http://cordexesg.dmi.dk/esgf-web-fe/> (EURO-CORDEX), <http://www.medcordex.eu/medcordex.php> (MED-CORDEX), <http://www.carpacsim-eu.org/pages/download/> (CARPATCLIM).

Hivatkozások

- Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, C.A.T., Fre, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöl, R., Semmler, T., Woth, K., 2007: Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Clim. Change*, 81 (Supplement 1): 71–95. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z>
- Christensen, O.B., Christensen, J. Machenhauer, H.B., Botzet, M., 1998: Very high-resolution regional climate simulations over Scandinavia—Present climate. *J. Climate*, 11: 3204–3229. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<3204:VHRRCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<3204:VHRRCS>2.0.CO;2)
- Christensen, J.H., Christensen, O.B., 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Clim. Change*, 81 (Supplement 1): 7–30. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9210-7>
- Colin, J., Deque, M., Radu, R., Somot, S., 2010: Sensitivity studies of heavy precipitations in limited area model climate simulation: influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique. *Tellus A*, 62: 591–604. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00467.x>
- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C. D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A., and Woodward, S., 2011: Development and evaluation of an Earth System model – HADGEM2. *Geosci. Model Dev.*, 4: 1051–1075. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>
- Coppola, E., Giorgi, F., Raffaele, F., Fuentes-Franco, F., Giuliani, G., Llopart-Pereira, M., Mamgain, A., Mariotti, L., Diro, T. G., Torma, Cs.Zs., 2014: Present and future climatologies in the phase I CREMA experiment. *Clim. Change*, 125: 23–38. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1137-9>
- Dickinson, R.E., Errico, R.M., Giorgi, F., Bates, G.T., 1989: A regional climate model for the western United States. *Clim. Change*, 15: 383–422. <https://doi.org/10.1007/BF00240465>
- Drobinski, P., Da Silva, N., Panthou, G., Bastin, S., Muller, C., Ahrens, B., Borga, M., Conte, D., Fosser, G., Giorgi, F., Güttler, I., Kotroni, V., Li, L., Morin, E., Önl, B., Quintana-Seguí, P., Romera, R., Torma, Cs.Zs., 2016: Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios. *Clim. Dyn.*, 51(3): 1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3083-x>
- Dufresne, J.L., Foujols, M.A., Denvil, S. et al., 2013: Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Clim. Dyn.*, 40(9–10): 2123–2165. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1636-1>
- Fantini, A., Raffaele, F., Torma, Cs., Bacer, S., Coppola, E., Giorgi, F., 2016: Assessment of multiple daily precipitation statistics in ERA-Interim driven Med-CORDEX and EURO-

- TCORDEX experiments against high resolution observations. *Clim. Dyn.*, 51(3): 877-900. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3453-4>
- Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G., 2009: Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58: 175–183.
- Giorgi, F., Coppola, E., Raffaele, F., Diro, G. T., Fuentes-Franco, R., Giuliani, G., Mamgain, A., Llopart Pereira, M., Mariotti, L., Torma, Cs., 2014: Changes in extremes and hydroclimatic regimes in the CREMA ensemble projections. *Clim. Change*, 125(1): 39–51. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1117-0>
- Giorgi, F., Coppola, E., Solomon, E., Mariotti, L., Sylla, M.B., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G.T., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U.U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T.A., Tawfik, A.B., Shalaby, A., Zakey, A.S., Steiner, A.L., Stordal, F., Sloan, L.C., Brankovic, C., 2012: RegCM4: model description and preliminary results over multiple CORDEX domains. *Clim. Res.*, 52: 7–29. <https://doi.org/10.3354/cr01018>
- Giorgi, F., Torma, Cs., Coppola, E., Ban, N., Schär, C., Somot, S., 2016: Enhanced summer convective rainfall at Alpine high elevations in response to climate warming. *Nat. Geosci.*, 9: 584–589. <https://doi.org/10.1038/ngeo2761>
- Halenka, T., 2007: On the Assessment of Climate Change Impacts in Central and Eastern Europe - EC FP6 Project CECILIA. *Geophysical Research Abstracts*, 9: 10545.
- Hazeleger, W., Severijns, C., Semmler, T., Stefanescu, S., Yang, S., Wang, X., Wyser, K., Dutra, E., Baldasano, J.M., Bintanja, R., Bougeault, P., Caballero, R., Ekman, A.M.L., Christensen, J.H., van den Hurk, B., Jimenez, P., Jones, C., Kallberg, P., Koenigk, T., McGrath, R., Miranda, P., van Noije, T., Palmer, T., Parodi, J.A., Schmith, T., Selten, F., Storelvmo, T., Sterl, A., Tapamo, H., Vancoppenolle, M., Viterbo, P., Willén, U., 2010: EC-EARTH: a seamless Earth system prediction approach in action. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 91: 1357–1375. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2877.1>
- Hewitt, C.D., Griggs, D., 2004: Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts. *Eos Trans. AGU*, 85(52), 566p. <https://doi.org/10.1029/2004EO520005>
- Isotta, F.A., Frei, C., Weilguni, V., Tadic, M.P., Lasségues, P., Rudolf, B., Pavan, V., Cacciamani, C., Antolini, G., Ratto, S.M., Munari, M., Micheletti, S., Bonati, V., Lussana, C., Ronchi, C., Panettieri, E., Marigo, G., Vertacnik, G., 2014: The climate of daily precipitation in the Alps: Development and analysis of a high resolution gridded dataset from pan-Alpine raingauge data. *Int. J. Climatol.*, 34: 1657–1675. <https://doi.org/10.1002/joc.3794>
- Jacob, D., Van den Hurk, B.J.J.M., Andrae, U., Elgered, G., Fortelius, C., Graham, L.P., Jackson, S.D., Karstens, U., Köpken, C., Lindau, R., Podzun, R., Rockel, B., Rubel, F., Sass, B.H., Smith, R.N.B., Yang, X., 2001: A comprehensive model intercomparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 77: 19–43. <https://doi.org/10.1007/s007030170015>
- Jacob, D., et al. (38 authors) EURO-CORDEX, 2014: New high resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Chang.*, 14: 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Jungclaus, J.H., Lorenz, S.J., Timmreck, C., Reick, C.H., Brovkin, V., Six, K., Segschneider, J., Giorgetta, M.A., Crowley, T.J., Pongratz, J., Krivova, N.A., Vieira, L.E., Solanki, S.K., Klocke, D., Botzet, M., Esch, M., Gayler, V., Haak, H., Raddatz, T.J., Roeckner, E., Schnur, R., Widmann, H., Cluassen, M., Stevens, B., Marotzke, J., 2010: Climate and carbon cycle variability over the last millennium. *Clim. Past*, 6: 723–737. <https://doi.org/10.5194/cp-6-723-2010>
- Kupiainen, M., Jansson, C., Samuelsson, P., Jones, C., Willén, U., Wang, S., Döscher, R., 2014: Rossby Centre regional atmospheric model, RCA4. *Rossby Centre Newslett.*,

<http://www.smhi.se/en/research/research-Departments/climate-research-rossby-centre2-552/1.16562>

- Liu, L., Solmon, F., Vautard, R., Hamaoui-Laguel, L., Torma, Cs.Zs., Giorgi, F., 2015: Estimates of common ragweed pollen emission and dispersion over Europe using RegCM-pollen model. *Biogeosciences Discuss.*, 12: 17595–17641. <https://doi.org/10.5194/bgd-12-17595-2015>
- van Meijgaard, E., van Ulft, L.H., Lenderink, G., de Roode, S.R., Wipfler, L., Boers, R., Timmermans, R.M.A., 2012: Refinement and application of a regional atmospheric model for climate scenario calculations of Western Europe. *KvR* 054/12, 46p.
- Rockel, B., Will, A., Hense, A., 2008: The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol. Z.*, 17(4): 347–348. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0309>
- Ruti, S.M., Somot, S., Giorgi, F., Dubois, C., Flaounas, E., Obermann, A., Dell'Aquila, A., Pisacane, G., Harzallah, A., Lombardi, E., Ahrens, B., Akhtar, N., Alias, A., Arsouze, T., Aznar, R., Bastin, S., Bartholy, J., Béranger, K., Beuvier, J., Bouffies-Cloch  , S., Brauch, J., Cabos, W., Calmanti, S., Calvet, J.-C., Carillo, A., Conte, D., Coppola, E., Djurdjevic, V., Drobinski, P., Elizalde-Arellano, A., Gaertner, M., Gal  n, P., Gallardo, C., Gualdi, S., Goncalves, M., Jorba, O., Jord  , G., L'Heveder, B., Lebeaupin-Brossier, C., Li, L., Liguori, G., Lionello, P., Maci  s, D., Nabat, P.,   nol, B., Raikovic, B., Ramage, K., Sevault, F., Sannino, G., Struglia, M.V., Sanna, A., Torma, Cs., Vervatis, V., 2015: MED-CORDEX initiative for Mediterranean Climate studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 97(7): 1187–1208. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00176.1>
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gil, D.O., Duda, D.M.B.M.G., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers, J.G., 2008: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Technical note 475. 125p. <https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>
- Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., 738 Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyr  k, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. Final 740 Technical Report. <http://www.carpatclim-eu.org>.
- Torma, Cs., Giorgi, F., 2014: Assessing the contribution of different factors in regional climate model projections using the factor separation method. *Atmos. Sci. Let.*, 15: 239–244. <https://doi.org/10.1002/asl2.491>
- Torma, Cs., Giorgi, F., Coppola, E., 2015: Added value of regional climate modeling over areas characterized by complex terrain-Precipitation over the Alps. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120: 3957–3972. <https://doi.org/10.1002/2014JD022781>
- Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., Salas y M  lia, D., Decharme, B., Cassou, C., S  n  si, S., Valcke, S., Beau, I., Alias, A., Chevallier, M., D  qu  , M., Deshayes, J., Douville, H., Fernandez, E., Madec, G., Maisonnave, E., Moine, M.-P., Planton, S., Saint-Martin, D., Szopa, S., Tyteca, S., Alkama, R., Belamari, S., Braun, A., Coquart, L., Chauvin, F., 2013: The CNRM-CM5 global climate model: description and basic evaluation. *Clim. Dyn.*, 40: 2091–2121. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1259-y>
-

ORCID

Torma Cs. Zs.  <https://orcid.org/0000-0002-4240-0788>